

УДК [579.695:628.394.6]:[628.394.17:661.185]  
ББК 28.49:38.761.204

*О. Б. Сопрунова, А. А. Утепешева, Виет Тиен Нгуен*

## МИКРООРГАНИЗМЫ – ДЕСТРУКТОРЫ ПАВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

*O. B. Soprunova, A. A. Utepesheva, Viet Tien Nguen*

## MICROORGANISMS – DESTRUCTORS OF SAS IN WATER ENVIRONMENTS

Значительную часть антропогенной нагрузки, приходящейся на поверхностные водные объекты, составляют сточные воды, содержащие поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые входят в состав всех хозяйственно-бытовых и большинства промышленных сточных вод. Для очистки бытовых и промышленных сточных вод от ПАВ широко используются физико-химические и биологические методы. Целью исследований являлось выделение из промышленных отходов микроорганизмов – деструкторов ПАВ. Чистые культуры микроорганизмов выделяли из нефтешламов и замазученных сточных вод предприятий нефтегазовой отрасли, сточных вод производства стекловолна. Выделение микроорганизмов из нефтешламов и замазученных сточных вод проводили методом накопительной микробной культуры с использованием жидких питательных сред Чапека и СРУГГ. Микроорганизмы из промышленных сточных вод производства стекловолна выделяли методом Коха на питательных средах М9 и МПА. Для изучения физиолого-биохимических свойств определяли потребность бактериальных штаммов в различных источниках углерода, азота, фосфора, амилалитическую, протеолитическую, липолитическую, фунгицидную, эмульгирующую активность, фитотоксичность, способность усваивать основные компоненты сточных вод. В результате исследований из промышленных отходов в чистые культуры выделено 13 штаммов бактерий, представленных грамположительными и грамотрицательными формами, относящихся к родам *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Kocuria*, *Stenotrophomonas*, *Proteus*, *Staphylococcus*. Изучение физиолого-биохимических свойств показало, что все изоляты: способны усваивать углерод, азот и фосфор как основные источники энергии в органической и минеральной форме; обладают протеолитической, липолитической, эмульгирующей и фунгицидной активностью; способны усваивать основные компоненты сточных вод. При изучении их деструктивной способности по отношению к ПАВ установлено, что все штаммы способны к деградации анионных и катионных ПАВ. Это позволяет рассматривать возможность использования бактериальных культур для разработки способов очистки водных сред от ПАВ.

**Ключевые слова:** микроорганизмы, сточные воды, очистка, поверхностно-активные вещества, деградация.

A significant part of the anthropogenic burden on surface water, are sewage containing surface-active substances (SAS), which are part of all domestic and most industrial sewage. For the treatment of domestic and industrial sewage from surface-active substances physico-chemical and biological methods are widely used. The aim of this study was to discharge from industrial wastes microorganisms – destructors of SAS. Pure cultures of microorganisms were isolated from oil sludge and waste water of oil and gas industry, wastewater of fiberglass production. Isolation of microorganisms from oil sludge and oil waste waters was carried out by cumulative microbial culture using liquid nutritive Chapek and СРУГГ media. Microorganisms from industrial sewage of fiberglass production were isolated by Koch's method in nutrient media M9 and MEA. To study the physiological and biochemical properties the needs of the bacterial strains in different sources of carbon, nitrogen, phosphorus, amylolytic, proteolytic, lipolytic, fungicidal, emulsifying activity, phytotoxicity and the ability to learn the basic components of waste waters were determined. The studies of industrial wastes in pure cultures there has been isolated 13 strains of bacteria, represented by gram-positive and gram-negative forms, belonging to the genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Kocuria*, *Stenotrophomonas*, *Proteus*, *Staphylococcus*. The study of the physiological and biochemical properties showed that all isolates were able to assimilate carbon, nitrogen and phosphorus as the main sources of energy in organic and mineral form, to have proteolytic, lipolytic, emulsifying and fungicidal activity and to absorb the main components of waste waters. In the study of their destructive power to SAS it has been stated that all strains are capable to degradation of anionic and cationic SAS. It allows considering the possibility of using bacterial cultures to develop ways to clean water environments from SAS.

**Key words:** microorganisms, sewage, purification, surface-active substances, degradation.

## **Введение**

Важнейшая экологическая проблема современного мира – утилизация токсичных химических веществ, которые попадают в окружающую среду в составе промышленных и бытовых отходов. Наиболее распространенной и опасной группой ксенобиотиков являются поверхностно-активные вещества, которые широко применяются более чем в 100 отраслях промышленности, и, являясь активной основой бытовых и промышленных моющих средств, в большом количестве попадают в водную среду. При этом значительную часть антропогенной нагрузки, приходящейся на поверхностные водные объекты, составляют сточные воды, содержащие синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), которые входят в состав всех хозяйственно-бытовых и большинства промышленных сточных вод.

95–98 % общего количества применяемых в России детергентов – синтетических моющих средств (СМС), вырабатываемых промышленностью, составляют анионные и неионогенные ПАВ и моющие средства на их основе, которые, как правило, характеризуются низкой биологической разлагаемостью и в силу своей химической природы оказывают существенное отрицательное воздействие на водные объекты.

Попадая в водоемы, ПАВ активно участвуют в процессах перераспределения и трансформации других загрязняющих веществ (таких как хлорофос, анилин, цинк, железо, бутилакрилат, канцерогенные вещества, пестициды, нефтепродукты, тяжелые металлы и др.), активизируя их токсическое действие [1]. Анализ данных о биоразлагаемости ПАВ позволяет выделить следующие перспективные направления решения проблемы снижения воздействия данной группы токсикантов на окружающую среду: синтез и внедрение в производство легко биоразрушаемых соединений и разработка новых, более эффективных методов очистки окружающей среды от ПАВ.

Для очистки бытовых и промышленных сточных вод от ПАВ широко используются физико-химические и биологические методы. Биологические методы очистки базируются на использовании потенциала гетеротрофных микроорганизмов, способных в качестве субстрата для роста и развития потреблять широкий круг органических соединений, в том числе и ПАВ различного происхождения. Так, в природе довольно часто встречаются микроорганизмы, способные разрушать биологически «мягкие» ПАВ, в том числе неионогенные, такие как оксиэтилированные спирты и кислоты, реже – «жесткие», такие как оксиэтилированные алкилфенолы. Известно, что чем больше ксенобиотики отличаются от природных субстратов и метаболитов основного обмена, тем меньше вероятность широкого распространения штаммов, способных к их утилизации. Вследствие попадания ПАВ в окружающую среду в естественных субстратах появляются микроорганизмы с повышенной устойчивостью к этим соединениям, многие из которых способны к их деструкции [2]. Такими объектами формирования устойчивых сообществ микроорганизмов являются загрязненные почвы, сточные воды и активные илы очистных сооружений. Тем не менее даже из таких источников не всегда удается выделить микроорганизмы-деструкторы.

Совершенствование биотехнологии микробной очистки от ПАВ основано на селекции новых высокоактивных консорциумов или штаммов-деструкторов, исследовании и отработке условий и приемов их наиболее эффективного использования, поэтому получение чистых культур и сообществ микроорганизмов, имеющих высокие биодеструктивные характеристики в отношении этих соединений, представляет собой актуальную задачу.

Целью исследований являлось выделение из промышленных отходов микроорганизмов – деструкторов ПАВ.

## **Материалы и методы исследования**

Чистые культуры микроорганизмов выделяли из нефтешламов и замазученных сточных вод предприятий нефтегазовой отрасли, сточных вод производства стекловолокна.

Выделение микроорганизмов из нефтешламов и замазученных сточных вод проводили методом накопительной микробной культуры с использованием жидких питательных сред Чапека и SPYGG [3]. Для этого в колбы Эйленмейера вносили жидкую среду в количестве 100 мл с добавлением 10 г нефтешлама или 10 мл замазученной сточной воды. Культивирование на жидкой среде Чапека проводили при температуре 28 °С в стационарной культуре и на качалке при 190 об/мин; на жидкой среде SPYGG – при температуре 22–25 °С в стационарной культуре и на качалке при 300 об/мин. Рост накопительной микробной культуры устанавливали визуально по помутнению среды и микроскопированием фиксированных и окрашенных по Граму препаратов, количественный состав оценивали методом высева на плотные питательные среды [4, 5].

Выделение и получение чистых культур бактерий из накопительных микробных культур осуществляли методом Коха с предварительным последовательным разведением на плотных средах Чапека и СРУGG. Посев осуществляли через 3, 10, 14, 21 суток экспозиции накопительных микробных культур.

Микроорганизмы из промышленных сточных вод производства стекловолкна выделяли методом Коха [6] с использованием поверхностного и глубинного культивирования на следующих питательных твердых средах: мясопептонный агар и агаризованная среда М9 [7] следующего состава, г/л:  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  – 6,0;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 3,0;  $\text{NaCl}$  – 0,5;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – 1,0; pH 7,0–7,2. Для выделения специфичной микрофлоры использовали МПА и М9, в которые вносили полиакриламид в количестве 1 г/л. Посевы проводили с использованием метода предельных разведений. Культивирование на среде МПА проводили при температуре 25 °С в течение недели; на среде М9 – в течение 3–4 недель, при температуре 25 °С.

Чистые культуры доминирующих бактерий, выросших на чашках Петри, выделяли по методу Коха из отдельных колоний. Чистоту выделенных культур оценивали визуально и микроскопированием препаратов окрашенных фиксированных клеток [8].

При изучении культуральных свойств выделенных штаммов отмечали: форму, профиль колоний, размеры, поверхность, оптические свойства поверхности, цвет, консистенцию. Морфологические свойства изучали микроскопированием фиксированных окрашенных препаратов. К морфологическим признакам относили форму бактерий, размеры клеток, способность к спорообразованию и расположение спор, окраску по Граму [4].

Для изучения физиолого-биохимических свойств определяли потребность бактериальных штаммов в различных источниках углерода, азота, фосфора, аμιлолитическую, протеолитическую, липолитическую, фунгицидную, эмульгирующую активность, фитотоксичность, способность усваивать основные компоненты сточных вод [5, 9].

Видовую идентификацию бактериальных штаммов проводили путем секвенирования фрагментов гена 16S рРНК в Институте экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения РАН (ИЭГМ УрО РАН).

Способность микроорганизмов деградировать ПАВ изучали флуориметрическим методом, который основан на экстракции хлороформом ионных пар АПАВ (додецилсульфата натрия) с красителем акридиновый желтый, деградации КПАВ (цетилпиридиний хлористого) – на экстракции хлороформом ионных пар КПАВ с красителем эозин и измерении концентрации ПАВ в полученном экстракте с помощью анализатора жидкости «Флюорат-02» [10, 11].

### Результаты исследований и их обсуждение

При постановке накопительных микробных культур нефтешламов и замазученных сточных вод и при прямом посеве проб сточных вод производства стекловолкна в чистые культуры при последовательных пересевах выделены бактериальные изоляты: 31 из нефтешламов, 25 – замазученных сточных вод, 8 – сточных вод (табл. 1). При изучении культурально-морфологических свойств бактерий установлено, что они представлены грамположительными и грамотрицательными формами. Изучение физиолого-биохимических свойств показало, что все изоляты способны усваивать углерод, азот и фосфор как основные источники энергии в органической и минеральной форме, обладают протеолитической, липолитической, эмульгирующей и фунгицидной активностью, способны усваивать основные компоненты сточных вод. Первичный скрининг среди выделенных изолятов позволил отобрать 13 культур, обладающих максимальными показателями по активности роста на средах с различными источниками углерода, высокой эмульгирующей активности, способности усваивать ПАВ в качестве источников питания.

Таблица 1

Список чистых культур микроорганизмов

| Объект, из которого выделена культура                                     | Идентификация культуры                 |
|---|--|
| Сточные воды очистных сооружений АООТ «Астраханское стекловолкно»         | <i>Kocuria rosea</i>                   |
|   | <i>Kocuria palustris</i>               |
|   | <i>Pseudomonas seleniipraecipitans</i> |
|   | <i>Proteus vulgaris</i>                |
|   | <i>Staphylococcus warneri</i> A        |
| Нефтешламы очистных сооружений Астраханского газоперерабатывающего завода | <i>Staphylococcus warneri</i> T        |
|   | <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>    |
|   | <i>Bacillus safensis</i>               |
|   | <i>Bacillus tequilensis</i>            |

Продолжение табл. 1

| Объект, из которого выделена культура | Идентификация культуры            |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Замасуоченные сточные воды нефтебазы  | <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> |
|                                       | <i>Bacillus licheniformis</i>     |
|                                       | <i>Bacillus anthracis</i>         |
|                                       | <i>Bacillus vallismortis</i>      |

Для изучения способности бактериальных культур к деградации ПАВ использовали модельные растворы с концентрациями анионных (додецилсульфат натрия) и катионных (цитил-пиридиний хлористый) ПАВ 1, 2, 10 и 20 мг/дм<sup>3</sup>. Титр клеток бактериальных штаммов при внесении составлял 10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup> КОЕ/мл.

В результате исследований установлено, что все штаммы обладают способностью к деградации как анионных, так и катионных ПАВ (табл. 2). При этом деградация катионных ПАВ происходит несколько медленнее.

Таблица 2

## Деградация ПАВ бактериальными штаммами в модельных растворах, %

| Время эксперимента (сутки)  | Контроль | <i>Kocuria rosea</i> | <i>Kocuria palustris</i> | <i>Pseudomonas selenipraecipitans</i> | <i>Proteus vulgaris</i> | <i>Staphylococcus warneri A.</i> | <i>Staphylococcus warneri T.</i> | <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> | <i>Bacillus safensis</i> | <i>Bacillus tequilensis</i> | <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> | <i>Bacillus licheniformis</i> | <i>Bacillus anthracis</i> | <i>Bacillus vallismortis</i> |
|-----------------------------|----------|----------------------|--------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| АППАВ 1 мг/дм <sup>3</sup>  |          |                      |                          |                                       |                         |                                  |                                  |                                     |                          |                             |                                   |                               |                           |                              |
| 2                           | 47       | 79,8                 | 88                       | 92,2                                  | 92,1                    | 96,1                             | 92,5                             | 90,7                                | 82,4                     | 84,6                        | 85,7                              | 81,1                          | 83,6                      | 81,7                         |
| 3                           | 55       | 90,2                 | 93                       | 94,8                                  | 96,4                    | 100                              | 95,1                             | 93,2                                | 84,1                     | 86,4                        | 89,5                              | 83,7                          | 87,3                      | 87,5                         |
| 4                           | 64       | 100                  | 100                      | 100                                   | 100                     | –                                | 96,2                             | 95,3                                | 95,5                     | 92,5                        | 97,4                              | 85,4                          | 97,1                      | 90,2                         |
| АППАВ 2 мг/дм <sup>3</sup>  |          |                      |                          |                                       |                         |                                  |                                  |                                     |                          |                             |                                   |                               |                           |                              |
| 2                           | 33,8     | 97,3                 | 99,1                     | 97,1                                  | 80,5                    | 98,8                             | 76,9                             | 83,0                                | 93,8                     | 90,7                        | 92,3                              | 90,6                          | 93,1                      | 89,3                         |
| 3                           | 51       | 99                   | 100                      | 98,3                                  | 96,2                    | 100                              | 83,8                             | 89,7                                | 94,6                     | 92,4                        | 93,8                              | 91,2                          | 94,7                      | 91,2                         |
| 4                           | 63       | 100                  | –                        | 100                                   | 100                     | –                                | 88,3                             | 92,7                                | 95,4                     | 93,5                        | 94,9                              | 93,2                          | 95,2                      | 92,3                         |
| АППАВ 10 мг/дм <sup>3</sup> |          |                      |                          |                                       |                         |                                  |                                  |                                     |                          |                             |                                   |                               |                           |                              |
| 4                           | 52,8     | 99,3                 | 99,4                     | 99,3                                  | 99,8                    | 99,3                             | 94,6                             | 97,6                                | 96,5                     | 99,1                        | 97,9                              | 98,6                          | 99,5                      | 94,3                         |
| 5                           | 58,5     | 100                  | 100                      | 100                                   | 100                     | 100                              | 98,6                             | 98,5                                | 97,9                     | 97,7                        | 94,4                              | 97,9                          | 99,2                      | 98,2                         |
| 6                           | 68,1     | –                    | –                        | –                                     | –                       | –                                | 96,3                             | 96,0                                | 97,9                     | 98,8                        | 98,4                              | 98,8                          | 98,3                      | 98,4                         |
| АППАВ 20 мг/дм <sup>3</sup> |          |                      |                          |                                       |                         |                                  |                                  |                                     |                          |                             |                                   |                               |                           |                              |
| 4                           | 26,3     | 99,7                 | 99,7                     | 99,7                                  | 99,7                    | 99,8                             | 72,6                             | 95,4                                | 94,6                     | 97,6                        | 95,4                              | 95,9                          | 85,8                      | 97,3                         |
| 5                           | 29       | 100                  | 100                      | 100                                   | 100                     | 100                              | 85,4                             | 98,8                                | 97,4                     | 94,5                        | 96,7                              | 99,9                          | 99,9                      | 97,8                         |
| 6                           | 31,5     | –                    | –                        | –                                     | –                       | –                                | 92,3                             | 99,3                                | 98,5                     | 97,4                        | 98,6                              | 93,9                          | 99,9                      | 99,1                         |
| КПАВ 1 мг/дм <sup>3</sup>   |          |                      |                          |                                       |                         |                                  |                                  |                                     |                          |                             |                                   |                               |                           |                              |
| 3                           | 13       | 87                   | 91                       | 86                                    | 60                      | 91,5                             | 26,7                             | 95,1                                | 34,3                     | 60,2                        | 49,3                              | 68,6                          | 83,7                      | 49,2                         |
| 4                           | 20       | 94                   | 94,6                     | 94                                    | 98                      | 97                               | 94,8                             | 100                                 | 45,2                     | 72,6                        | 63,8                              | 73,3                          | 85,2                      | 76,9                         |
| 5                           | 23       | 100                  | 100                      | 100                                   | 100                     | 100                              | 100                              | –                                   | 94,7                     | 80,2                        | 82,7                              | 91,3                          | 87,9                      | 91,1                         |
| 6                           | 26       | –                    | –                        | –                                     | –                       | –                                | –                                | –                                   | 97,5                     | 90,2                        | 96,5                              | 92,7                          | 91,2                      | 94,6                         |
| КПАВ 2 мг/дм <sup>3</sup>   |          |                      |                          |                                       |                         |                                  |                                  |                                     |                          |                             |                                   |                               |                           |                              |
| 4                           | 24,5     | 90                   | 98,7                     | 94                                    | 99,4                    | 74                               | 72,1                             | 56,8                                | 83,7                     | 78,8                        | 73,2                              | 78,9                          | 57,1                      | 84,8                         |
| 5                           | 39       | 100                  | 100                      | 97,5                                  | 100                     | 96                               | 76,7                             | 62,6                                | 88,3                     | 93,1                        | 75,1                              | 93,1                          | 83,9                      | 88,5                         |
| 6                           | 55       | –                    | –                        | н/о*                                  | –                       | н/о                              | 92,2                             | 72,3                                | 93,8                     | 93,4                        | 83,1                              | 94                            | 91,5                      | 94,9                         |
| КПАВ 10 мг/дм <sup>3</sup>  |          |                      |                          |                                       |                         |                                  |                                  |                                     |                          |                             |                                   |                               |                           |                              |
| 5                           | 18       | 99,2                 | 99,5                     | 99,2                                  | 99,6                    | 99,3                             | 90,0                             | 80,4                                | 88,7                     | 70,3                        | 73,1                              | 78,3                          | 78,5                      | 59,9                         |
| 6                           | 22,8     | н/о                  | н/о                      | н/о                                   | н/о                     | н/о                              | 94                               | 86,8                                | 87,7                     | 88,1                        | 85,3                              | 88,7                          | 84,8                      | 92,4                         |
| КПАВ 20 мг/дм <sup>3</sup>  |          |                      |                          |                                       |                         |                                  |                                  |                                     |                          |                             |                                   |                               |                           |                              |
| 5                           | 4,5      | 94                   | 94,6                     | 95,8                                  | 91,1                    | 94                               | 45,0                             | 55,4                                | 64,3                     | 62,1                        | 51,5                              | 56,4                          | 63,6                      | 61,9                         |
| 6                           | 7,5      | н/о                  | н/о                      | н/о                                   | н/о                     | н/о                              | 63,1                             | 60,4                                | 73,6                     | 65,2                        | 52,3                              | 60,7                          | 84,8                      | 63,9                         |

\* н/о – не определялось.

При минимальных концентрациях АППАВ (1 и 2 мг/дм<sup>3</sup>) деградация интенсивно (88,3–100 %) проходит в течение 3–4 суток, при повышенных концентрациях АППАВ (10 и 20 мг/дм<sup>3</sup>) (рис. 1) – в течение 5–6 суток (92,3–100 %).

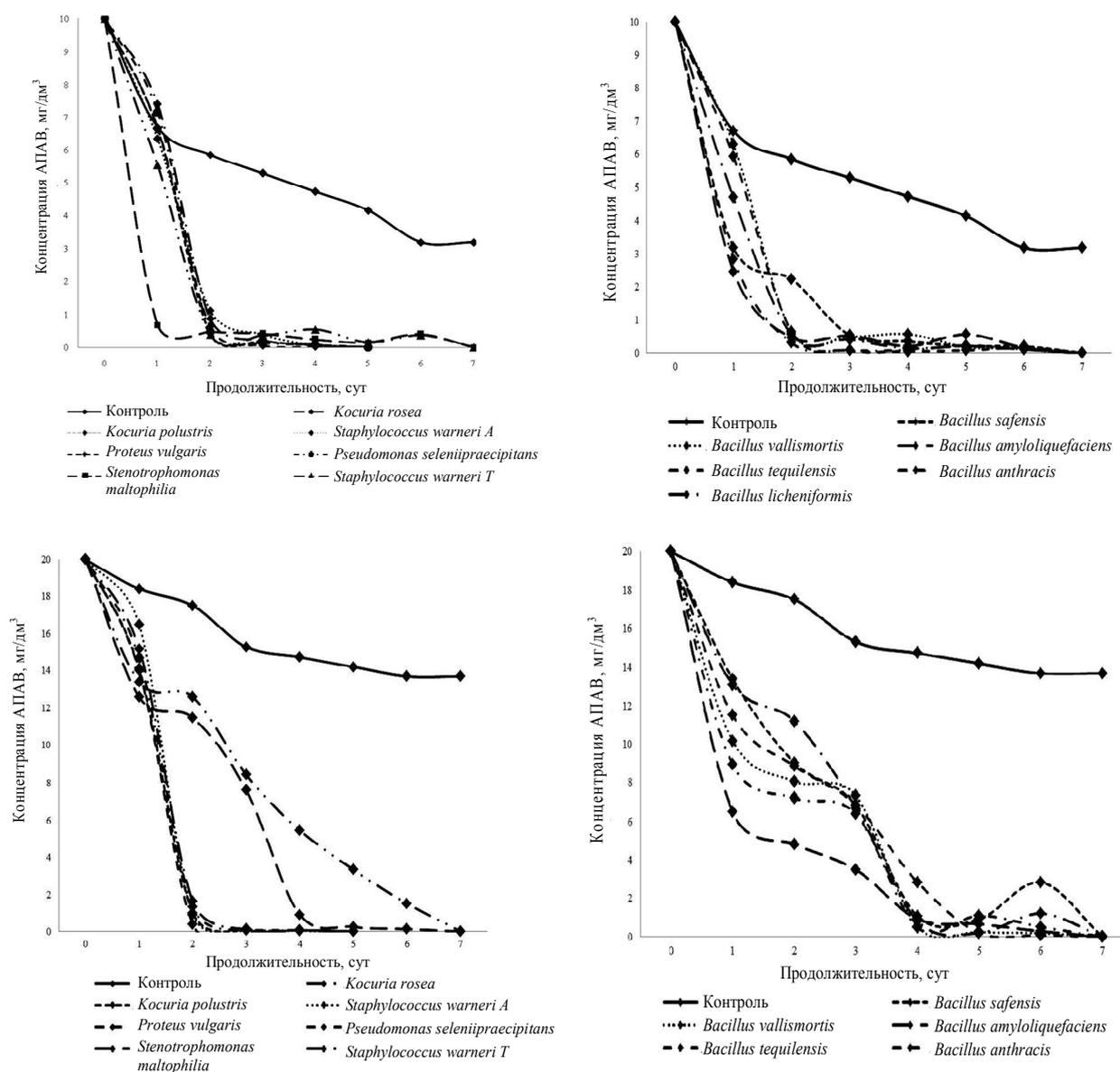


Рис. 1. Деградация АПАВ бактериальными штаммами

В отношении КПАВ все выделенные штаммы также проявили высокую эффективность, хотя процесс деградации проходит неоднозначно (рис. 2). Так, при минимальных концентрациях КПАВ (1 и 2 мг/дм<sup>3</sup>) деградация интенсивно (72,3–100 %) всеми штаммами бактерий проходит в течение 5–6 суток. При повышенных концентрациях КПАВ в течение 5-ти суток для штаммов, выделенных из сточных вод производства стекловолкна, деградация цитилпиридиния хлористого выше и составляет 99,2–99,5 % при концентрации 10 мг/дм<sup>3</sup>, 91,1–95,8 % – 20 мг/дм<sup>3</sup>. Для штаммов, выделенных из нефтешламов и замазученных сточных вод, эти значения несколько ниже (84,8–92,4 % на 5-е сутки и 52,3–84,8 % на 6-е сутки).

В целом наиболее эффективными как в отношении анионных, так и катионных ПАВ оказались штаммы *Kocuria rosea*, *Kocuria polustris*, *Pseudomonas seleniipraecipitans*, *Proteus vulgaris*, *Staphylococcus warneri A*, выделенные из сточных вод производства стекловолкна, в составе которых ПАВ являются преобладающими загрязнителями.

Несмотря на то, что ПАВ оказывают повреждающее действие на микроорганизмы, повышая проницаемость мембраны или разрушая ее, имеющиеся литературные данные показывают, что микроорганизмы могут приобрести резистентность как к катионным, так и к анионным

ПАВ [2]. Исследования позволили выделить из нефтешламов и сточных вод микроорганизмы, не только резистентные к токсическому действию ПАВ, но и способные к деградации анионных и катионных ПАВ.

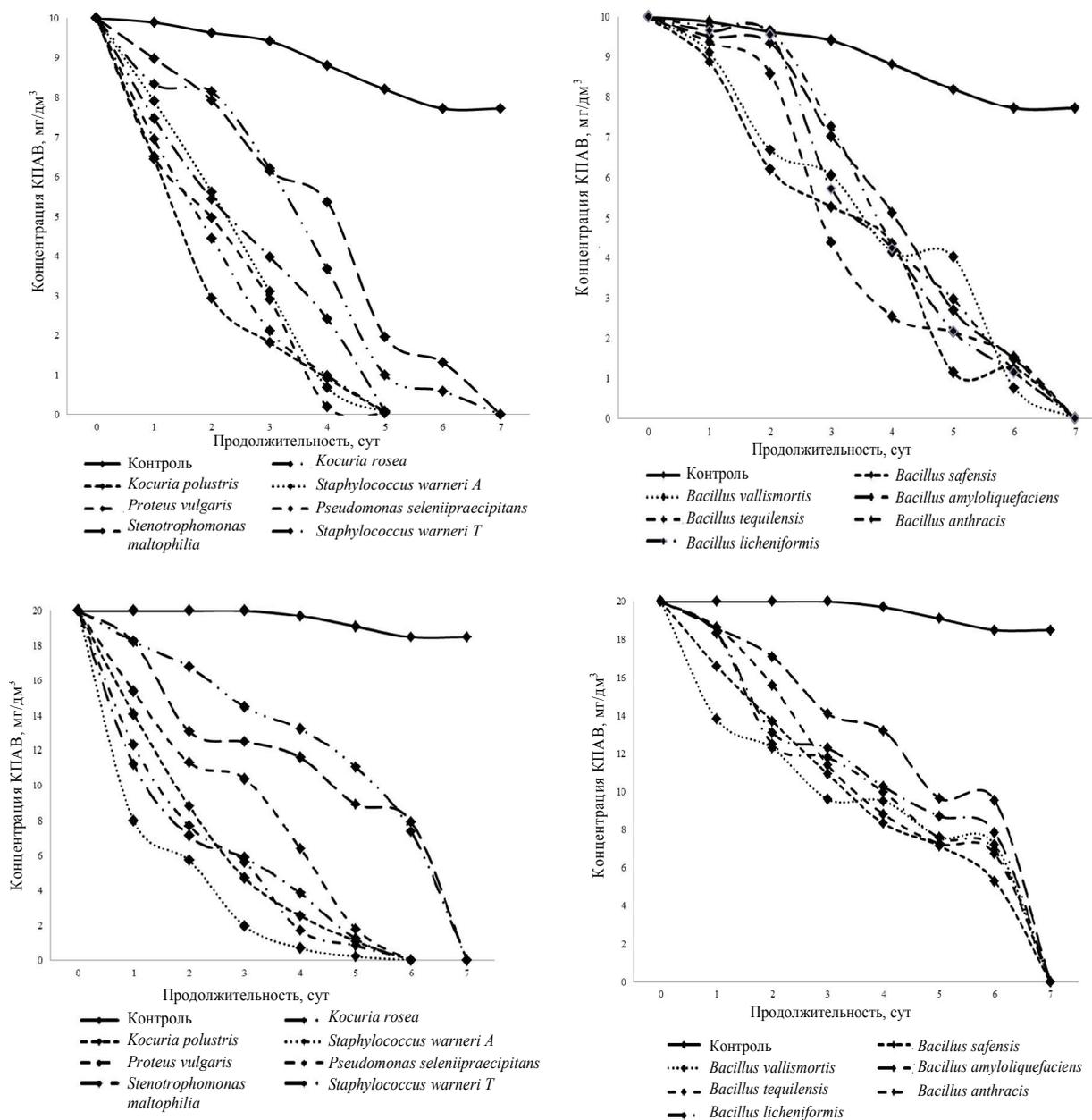


Рис. 2. Деграляция КПАВ бактериальными штаммами

Исследования разложения ПАВ чистыми культурами микроорганизмов [12] показали, что *Pseudomonas aeruginosa*, *Serratia marcescens*, *Escherichia coli*, *Aerobacter aerogenes*, *Salmonella enteritidis*, *Paracolobactrum aerogenoides* при выращивании на синтетической среде могут использовать различные анионные ПАВ в качестве единственного источника углерода. Из почвы, взятой в районе очистного сооружения, методом накопительных культур выделены 3 штамма *Pseudomonas*, в том числе *Ps. fluorescens*, и два штамма *Nocardia sp.*, которые активно разрушали АПАВ [12]. Имеются сведения о способности *Ps. putida* ТП-19 (В-6582) деградировать неионогенные и анионные ПАВ [7].

Анализ имеющихся литературных данных показывает, что деструкторы ПАВ встречаются чаще среди бактерий – представителей родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, но в то же время установлено, что способность разрушать ПАВ широко варьирует у микроорганизмов, даже среди представителей одного рода.

Исследования деградации ПАВ микробными культурами чаще ограничиваются лабораторными экспериментами, т. к. имеются определенные сложности при внедрении в практику очистки сточных вод. В то же время метод локальной микробной очистки, удельный вес использования которого в настоящее время в отношении ПАВ-содержащих сточных вод сохраняется на уровне 13 % как самостоятельно, так и в комплексе с физико-химическими методами [13], является наиболее перспективным для обезвреживания высококонцентрированных стоков, т. к. единственной группой организмов, вносящей реальный вклад в разрушение ПАВ в окружающей среде, являются бактерии. Этот метод отличается экологической безопасностью, высокой экономичностью и эффективностью по сравнению с другими методами.

Полученные в ходе исследования штаммы бактерий показали активность в отношении биодеградации анионных и катионных ПАВ, что представляет интерес для использования их в разработке методов и способов очистки сточных вод.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Остроумов С. А.* Биологическая активность вод, содержащих ПАВ // *Химия и технология воды.* 1991. – Т. 13, № 3. – С. 270–282.
2. *Ставская С. С., Удод В. М., Таранова Л. А.* Микробиологическая очистка воды от поверхностно-активных веществ. – Киев: Наук. думка, 1988. – 184 с.
3. *Поиск новых бактериальных экзополисахаридов для нефтегазового комплекса / Т. С. Сохань, Данянь Чжан, И. В. Ботвинко, А. И. Нетрусов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе.* – 2008. – № 5. – С. 62–64.
4. *Тептер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И.* Практикум по микробиологии / под ред. В. К. Шильниковой. – М.: Дрофа, 2004. – 256 с.
5. *Практикум по микробиологии / А. И. Нетрусов, М. А. Егорова, Л. М. Захарчук и др.; под ред. А. И. Нетрусова.* – М.: Академия, 2005. – 608 с.
6. *Градова Н. Б., Бабусенко Е. С., Горнова И. Б.* Лабораторный практикум по общей микробиологии. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 144 с.
7. *Турковская О. В.* Биологические и технологические аспекты микробной очистки сточных вод и природных объектов от поверхностно-активных веществ и нефтепродуктов: дис. ... д-ра. биол. наук. – Саратов, 2000. – 360 с.
8. *Руководство к практическим занятиям по микробиологии: практ. пособие / под ред. Н.С. Егорова.* – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 251 с.
9. *Логинов О. Н.* Бактерии *Pseudomonas* и *Azotobacter* как объекты сельскохозяйственной биотехнологии / отв. ред. Ф. М. Шакирова. – М.: Наука, 2005. – 166 с.
10. *ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000.* Методика выполнения измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ) в пробах природной, питьевой и сточной воды флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» / Утв. 2000-03-15. – М., 2000. – 21 с.
11. *ПНД Ф 14.1:2:4.39-95.* Методика выполнения измерений массовой концентрации катионных поверхностно-активных веществ (КПАВ) в пробах природной, питьевой и сточной воды на анализаторе жидкости «Флюорат-02» / Утв. 1995-06-23. – М., 1995. – 17 с.
12. *Ротмистров М. Н.* Микробиология очистки воды / М. Н. Ротмистров, П. И. Гвоздяк, С. С. Ставская. – Киев: Наук. думка, 1978. – 268 с.
13. *Клименко Н. А., Тимошенко М. Н.* Физико-химические методы очистки промышленных сточных вод от синтетических поверхностно-активных веществ // *Химия и технология воды.* – 1993. – Т. 15, № 7–8. – С. 534–566.

#### REFERENCES

1. *Ostroumov S. A.* Biologicheskaiia aktivnost' vod, sodержashchikh PAV [Biological activity of water containing SAS]. *Khimiia i tekhnologiiia vody*, 1991, vol. 13, no. 3, pp. 270–282.
2. *Stavskaiia S. S., Udod V. M., Taranova L. A.* *Mikrobiologicheskaiia ochistka vody ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv* [Microbiological purification of water from surface-active substances]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1988. 184 p.
3. *Sokhan' T. S., Danian' Chzhan, Botvinko I. V., Netrusov A. I.* Poisk novykh bakterial'nykh ekzopolisakharidov dlia neftegazovogo kompleksa [Search of new bacterial eczopolysaccharides for oil and gas complex]. *Zashchita okruzhaiushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2008, no. 5, pp. 62–64.
4. *Tepper E. Z., Shil'nikova V. K., Pereverzeva G. I.* *Praktikum po mikrobiologii* [Practical work on microbiology]. Pod red. V. K. Shil'nikovoi. Moscow, Drofa Publ., 2004. 256 p.
5. *Netrusov A. I., Egorova M. A., Zakharchuk L. M. i dr.* *Praktikum po mikrobiologii* [Practical work

on microbiology]. Pod red. A. I. Netrusova. Moscow, Akademiia Publ., 2005. 608 p.

6. Gradova N. B., Babusenko E. S., Gornova I. B. *Laboratornyi praktikum po obshchei mikrobiologii* [Laboratory practical work on general microbiology]. Moscow, DeLi print Publ., 2004. 144 p.

7. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnai ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov*. Diss. dokt. biol. nauk [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saratov, 2000. 360 p.

8. *Rukovodstvo k prakticheskim zaniatiiam po mikrobiologii: prakticheskoe posobie* [Guidelines to practical trainings on microbiology: manual]. Pod red. N. S. Egorova. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1983. 251 p.

9. Loginov O. N. *Bakterii Pseudomonas i Azotobacter kak ob"ekty sel'skokhoziaistvennoi biotekhnologii* [Bacteria Pseudomonas and Azotobacter as objects of agricultural biotechnology]. Otv. red. F. M. Shakirova. Moscow, Nauka Publ., 2005. 166 p.

10. PND F 14.1:2:4.158-2000. *Metodika vypolneniia izmerenii massovoi kontsentratsii anionnykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv (APAV) v probakh prirodnoi, pit'evoi i stochnoi vody fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti «Fliuorat-02»* [Methods of measuring the mass concentration of anion surface-active substances in probes of natural, drinking and waste water using fluorometric method by the analyzer of liquid "Fluorat-02"]. Utverzhdeno 2000-03-15. Moscow, 2000. 21 p.

11. PND F 14.1:2:4.39-95. *Metodika vypolneniia izmerenii massovoi kontsentratsii kationnykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv (KPAV) v probakh prirodnoi, pit'evoi i stochnoi vody na analizatore zhidkosti «Fliuorat-02»* [Methods of measuring the mass concentration of cation surface-active substances in probes of natural, drinking and waste water by the analyzer of liquid "Fluorat-02"]. Utverzhdeno 1995-06-23. Moscow, 1995. 17 p.

12. Rotmistrov M. N., Gvozdiak P. I., Stavskai S. S. *Mikrobiologiya ochistki vody* [Microbiology of water purification]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1978. 268 p.

13. Klimentko H. A., Timoshenko M. N. *Fiziko-khimicheskie metody ochistki promyshlennykh stochnykh vod ot sinteticheskikh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv* [Physical and chemical methods of purification of industrial sewage from synthetic surface-active substances]. *Khimiia i tekhnologiya vody*, 1993, vol. 15, no. 7–8, pp. 534–566.

Статья поступила в редакцию 18.02.2013

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Сопрунова Ольга Борисовна** – Астраханский государственный технический университет; г-р биол. наук, профессор; зав. кафедрой «Прикладная биология и микробиология»; soprunova@mail.ru.

**Soprunova Olga Borisovna** – Astrakhan State Technical University, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department "Applied Biology and Microbiology"; soprunova@mail.ru.

**Утепешева Алия Алимгазиевна** – Астраханский государственный технический университет; ассистент кафедры «Прикладная биология и микробиология»; aliyashka.85@mail.ru.

**Utepeshева Aliya Alimgazievna** – Astrakhan State Technical University; Assistant of the Department "Applied Biology and Microbiology"; aliyashka.85@mail.ru.

**Нгуен Виет Тиен** – Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Прикладная биология и микробиология»; Viettien@yahoo.com.

**Nguen Viet Tien** – Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Applied Biology and Microbiology"; Viettien@yahoo.com.